

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ

*Худякова Г.И., Рыжков А.Ф.
УрФУ, uge87@mail.ru*

Основной сегмент применения низкосортных топлив (НТ) – установки региональной, промышленной и коммунальной энергетики, которые работают по технологиям низкотемпературного сжигания, при котором гетерогенный переход органической части топлива из твердого состояния в газообразное протекает в низкотемпературном режиме с сохранением минеральной части в твердом виде. Экспериментальные данные по низкотемпературному горению топливных частиц (ТЧ) могут быть использованы для анализа термохимической подготовки топлив в топках с плотным и кипящим слоем, газогенераторах и предтопках с предварительной термоподготовкой топлива.

Рассмотрены особенности воспламенения и выгорания ТЧ для выявления и исследования кинетики термохимической конверсии. В экспериментах исследовался ряд топлив естественного происхождения (Волчанский бурый уголь – ВБУ, торф, биомасса), продукты термообработки (коксы слоевого коксования, древесный уголь) и ряд композитных ТЧ (влажные гранулы на основе угольной, торфяной и древесной пыли) и прессования (древесные пеллеты) с различающимися значениями плотности, влажности и зольности (таблица). По зольности топлива делятся на: высокозольные (ВБУ, гранулы из пыли ВБУ), среднезольные (коксы 2 и 3, гранулы из торфяной пыли) и малозольные высокорекреационные (кокс 1, древесина, древесный уголь (ГОСТ 7657-84), косточка, гранулы из древесной пыли, пеллеты), в условиях воздушного процесса. Исследовались топлива 1-8, а 9-11 были исследованы ранее [1].

Выбор ВБУ обусловлен близостью его свойств с углями Северососьвинского угленосного района, рассматриваемыми в качестве основного энергетического ресурса для перспективного развития Полярного и Приполярного Урала, по данным УралВТИ. Образцы коксов (по таблице – № 2-4) получены от ООО «Проминтех НКА»: «кокс 1» – кокс из нефтяной коксующей добавки (ДК), «кокс 2» – производственный кокс Губахинского коксохимзавода с добавкой к угольной шихте 50 % ДК и «кокс 3» – производственный кокс Кемеровского коксохимзавода из 100 % кузнецких углей. Образцы получены путем совместного или индивидуального пиролиза угольной шихты и ДК и последующего дробления до фракции 19-22,4 мм. Исследования проводились при температуре 800-900 °С – оптимальной для связывания серы.

Топливные гранулы (по таблице – № 5-7) с эквивалентным размером 15 мм, получаемые прессованием из суспензии на основе угольной, торфяной и древесной пыли, находящейся на пределе текучести, и помещаемые после формовки в разогретый муфель, позволяют определить влияние горючего наполнителя на динамику выгорания. Характерной особенностью является сохранение формы гранулы в течение всего времени выгорания. Пластичность контактов между отдельными зернами в грануле снимает накапливающиеся при термической усадке разрушающие напряжения. В то же время прочности создаваемых

при усадке и последующем обжиге межчастичных контактов оказывается достаточно, чтобы минеральный каркас сохранял свою форму в течение всего процесса озоления.

Характеристики исследуемых топлив

№	Топливо	W_t^r , %	A^d , %	V^{daf} , %	Q_i^r , Дж/кг	ρ^r , кг/м ³ *
1	ВБУ	20	40,5	31,9	10,63	1450
2	Кокс 1	3	1	1	32,7	820
3	Кокс 2	0,6	6,5	1	32,3	874
4	Кокс 3	0,4	12	1	31,8	834
5	Гранула из пыли ВБУ	30	46	27	10,63	1154
6	Гранула из древесной шлифпыли	65	1	85	12,6	987
7	Гранула из торфяной пыли	70	9	70	16,5	870
8	Древесина разных пород	8-12	1	85-88	10,2-18,1	450-690
9	Древесный уголь	1,4	0,9	15	31,5	380
10	Косточка	4	0,97	85	18,9	1150
11	Пеллета	10	2	87	17,5	1200

Примечание: * Кажущаяся плотность при рабочей влажности

В опытах по определению динамики выгорания ТЧ образец диаметром более 10 мм размещался (центрировался) на корольке термопары (тип ХА, диаметр королька – 1 мм) и вносился в предварительно нагретый до заданной температуры (400-1200 °С) муфель. Измерялись температуры печи, поверхности и центра образца за время процесса (τ). Эксперименты проводились при нормальных условиях с закрытым непродуваемым муфелем, принимали скорость потока воздуха $w = 0$ м/с. Средняя эффективная скорость горения коксозольного остатка (КЗО) определялась как убыль расчетной массы КЗО с единицы поверхности эквивалентной сферы (по начальному размеру) за время выгорания КЗО (кг/м²с): $j = \Delta M / (\Delta t_{\text{КЗО}} \cdot F)$.

При обработке ставилась задача нахождения средней скорости конверсии за полное время выгорания, а основной упор в экспериментах делался на «ранжирование» исследуемых топлив по определяемым параметрам при одинаковом уровне систематических погрешностей. В качестве оценочных рассматривались кинетический и диффузионный режимы горения, температурная граница между ними зависит от интенсивности массообмена и для наиболее реакционных топлив в малоподвижной среде составляет 500 °С.

В низкотемпературном диапазоне ($T_m = 250\text{--}500$ °С) разогрев влажных гранул происходит с запаздыванием из-за процесса сушки, наименьшее запаздывание – у гранулы с минимальной начальной влажностью (уголь). В высокотемпературном диапазоне (при температуре муфеля 800 °С) специфика прогрева и воспламенения различных топлив нивелируется. «Запаздывание» прогрева ТЧ относительно древесного угля уменьшается, а перегревы к концу саморазогрева и скорости горения КЗО сближаются.

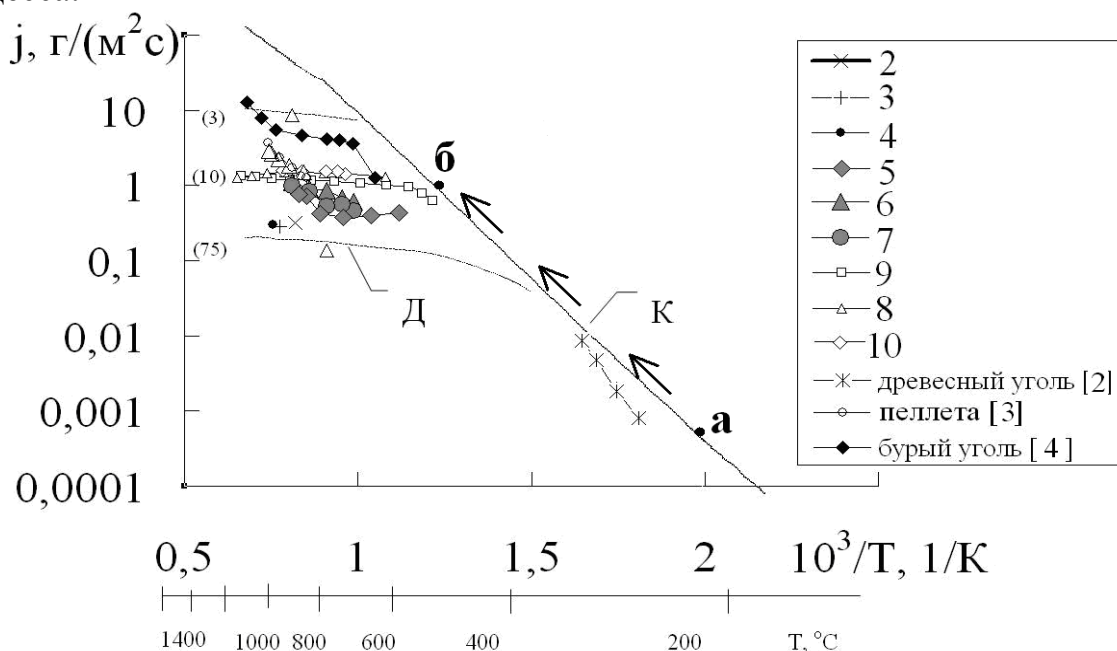
В низкотемпературном диапазоне низкорекционные топлива в процессе выгорания КЗО ведут себя подобно химически инертным телам ($\Delta T = 0$). После

разогрева до 700 °С в них развивается беспламенное горение с перегревом, проявляющееся в виде свечения. При этом горение КЗО высокорекреакционных топлив не зависит от влажности и начинается после выхода основной массы летучих, при температуре $T_{\text{ч}} \approx 300\text{--}400$ °С, а древесного угля с малым содержанием летучих при более низкой температуре $T_{\text{ч}} \approx 250$ °С.

Скорость горения коксов ($\sim 0,2\text{--}0,3$ г/м²с) в 2-5 раз меньше, чем высокорекреакционных топлив. По этому показателю коксы занимают последнее место в ряду «древесина – шлифпыль – торф – бурый уголь – коксы». Внутри подгруппы максимальную реакционную способность проявил кокс 3, выгорающий с наибольшим перегревом и скоростью; кокс 1, как наименее реакционноспособный, показал минимальные скорость горения и перегрев.

Динамический процесс саморазогрева КЗО в низкотемпературном диапазоне представляет известный из теории теплового взрыва Н.Н. Семенова переходный процесс, разворачивающийся во времени вдоль кинетической кривой (рисунок) от начального значения (точка «а») до «излома» в точке «б». Происходящий при этом эволюционный «скачок», условно отраженный стрелками между точками «а» и «б», символизирует переход из кинетической области горения в начале саморазогрева к диффузионной – в конце.

Для высокорекреакционных топлив «излом» по расчету приходится на область температур ~ 500 °С. Такую температуру может приобрести частица, забрасываемая в топку, разогретую до температуры $\sim 250\text{--}300$ °С. По сравнению с низкорекреакционными топливами устойчивый кинетический режим горения в обычных условиях не реализуется, а диффузионный переход наступает при низкой температуре реагирования. Это является физической основой для разработки технологий низкотемпературного сжигания/газификации, но одновременно создает методологические трудности при определении кинетических констант процесса.



Зависимость скорости горения частицы j , г/(м²с), от обратной ($1000 / T_{\text{ч}}$, 1000 / К) и обычной ($t_{\text{ч}}$, °С) температуры частицы, цифры в скобках – диаметр частиц, $d_{\text{ч}}$, мм, обозначения – по таблице ([2] – древесный уголь Хайкина С.Э.)

В результате экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы. В режимах низкотемпературного сжигания НТ воспламенение и выгорание в значительной мере определяются как природой и «предысторией» ТЧ, так и спецификой протекающих при их помещении в топку процессов. Масштабное исследование особенностей выгорания НТ различного происхождения показало, что наиболее подходящими для низкотемпературных технологий являются топлива, имеющие низкую температуру воспламенения и высокую удельную скорость горения. Из ископаемых топлив такими оказались волчанские бурые угли. По сравнению с угольными, более влажные гранулы торфа и древесины существенно проигрывают по теплоплотности, что приводит при прочих равных условиях к соответствующему снижению поверхностной скорости выгорания, тогда как количество испаряемой воды находится на пределе положительного теплового баланса. При положительном тепловом балансе снижение эффективности сжигания оправдывается назначением сжигания мокрого гранулированного топлива – огневой утилизацией горючих отходов, а подтвержденный промышленными испытаниями практический эффект свидетельствует о целесообразности применения данного способа в специальных условиях. Представленные образцы коксов слоевого коксования после дробления могут найти применение в слоевых технологиях сжигания: при небольших концентрациях нефтекокса – в установках с плотным слоем, а при необходимости сероподавления – в установках с кипящим слоем.

Библиографический список

1. Силин В.Е., Рыжков А.Ф., Богатова Т.Ф., Надир С.М. Изучение выгорания одиночной частицы биотоплива // Горение твердого топлива: сб. докладов VII Всерос. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 10-13 ноября 2009 г. Новосибирск: Изд-во Института теплофизики СО РАН, 2009. Ч. 2. С. 134–143.
2. Хитрин Л. И. Физика горения и взрыва. М.: Изд. АН СССР, 1955. 442 с.
3. Palchonok G., Leckner B., Tullin C., Martinsson L., Borodulya A. Combustion characteristics of wood pellets // PELLETS 2002: Proc. 1st World Pellets Conf. Sept. 2-6, 2002. Stockholm. 2002. P. 105-109.
4. Павлюк Е. Ю., Мунц В. А. Моделирование растопки котлов с кипящим слоем // Вестник УГТУ-УПИ: Теплоэнергетика. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 3 (33). С. 56–61.

ИНТЕРАКТИВНОЕ ИЗУЧЕНИЕ «ОСНОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»

Худякова Г.И.

УрФУ, uge87@mail.ru

Проблема подготовки кадров в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности на данный момент стоит достаточно остро, активная работа по подготовке специалистов в данной области началась после принятия первого Федерального закона «Об энергосбережении» от 03.04.1996 г. № 28-ФЗ, значительно усилилась с появлением нового ФЗ № 261 [1] в соответствии со следующими положениями этого закона:

- образовательные программы могут включать в себя учебные курсы по основам энергосбережения и повышения энергетической эффективности (пункт 4 статьи 22);